

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-040326

(43)Date of publication of application : 06.02.2002

(51)Int.Cl.

G02B 17/08

(21)Application number : 2000-228798

(71)Applicant : NEC VIEWTECHNOLOGY LTD

(22)Date of filing : 28.07.2000

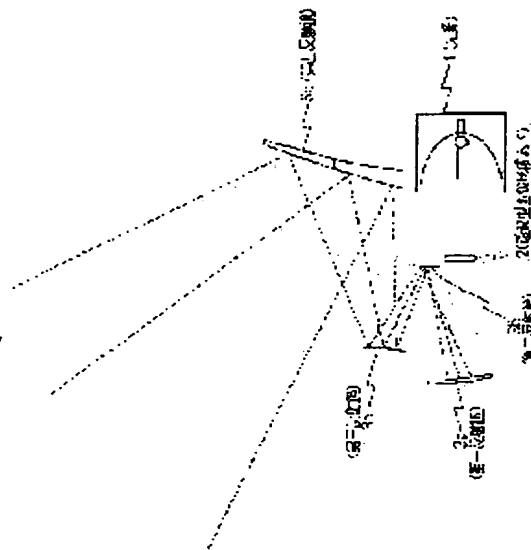
(72)Inventor : OGAWA JUN

## (54) REFLECTION TYPE IMAGE-FORMATION OPTICAL SYSTEM

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent an image-formation optical system from getting larger and to realize the wider viewing angle of the optical system.

SOLUTION: This optical system is equipped with 1st to 4th reflection mirrors 3a, 3b, 3c and 3d in order to successively reflect, enlarge and project luminous flux from an image forming body 2 such as an image forming element or an imaging device. Then, the 1st reflection mirror 3a is disposed to receive the luminous flux from the image forming body 2 by its reflection surface consisting of a curved surface in concave shape. The 2nd reflection mirror 3b is disposed so that its reflection surface consisting of a curved surface in convex shape may turn to the luminous flux from the 1st reflection mirror 3a. The 3rd reflection mirror 3c is disposed so that its reflection surface consisting of a curved surface in convex shape may turn to the luminous flux from the 2nd reflection mirror 3b. The 4th reflection mirror 3d is disposed so that its reflection surface consisting of a curved surface in convex shape may turn to the luminous flux from the 3rd reflection mirror 3c.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-40326

(P2002-40326A)

(43) 公開日 平成14年2月6日 (2002.2.6)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 17/08

識別記号

F I

G 0 2 B 17/08

テームコード\* (参考)

A 2 H 0 8 7

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-228798 (P2000-228798)

(22) 出願日 平成12年7月28日 (2000.7.28)

(71) 出願人 300016765

エヌイーシービューテクノロジー株式会社  
東京都港区芝五丁目37番8号

(72) 発明者 小川 潤

東京都港区芝五丁目33番1号 エヌイーシー  
ビューテクノロジー株式会社内

(74) 代理人 100079164

弁理士 高橋 勇

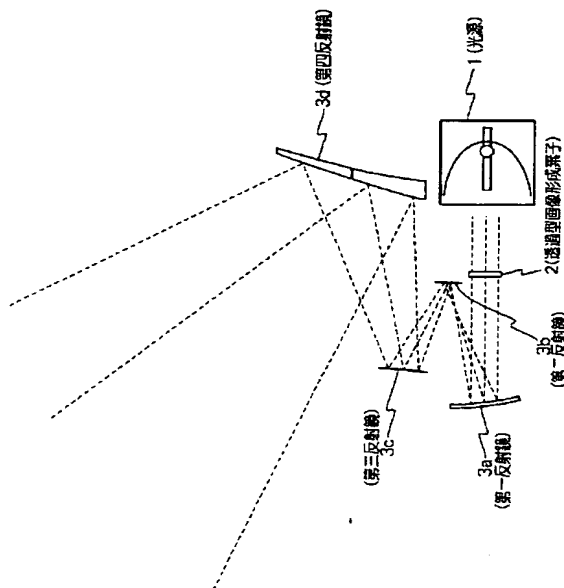
Fターム (参考) 2H087 KA06 KA07 TA02 TA06

(54) 【発明の名称】 反射型結像光学系

(57) 【要約】

【課題】 結像光学系の大型化を抑え且つ広画角化を図ること

【解決手段】 画像形成素子若しくは撮像素子等の画像形成体2からの光束を順次反射させて拡大投写する為に第一から第四の四つの反射鏡3a、3b、3c、3dを備える。ここで、第一反射鏡3aは、その凹状の曲面から成る反射面にて画像形成体2からの光束を受けるように配設する。第二反射鏡3bは、その凸状の曲面から成る反射面を第一反射鏡3aからの光束に向けて配設する。第三反射鏡3cは、その凸状の曲面から成る反射面を第二反射鏡3bからの光束に向けて配設する。第四反射鏡3dは、その凸状の曲面から成る反射面を第三反射鏡3cからの光束に向けて配設すること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 画像形成素子若しくは撮像素子等の画像形成体からの光束を順次反射させて拡大投写する反射型結像光学系であって、

前記反射用として、第一から第四の四つの反射鏡を備え、

前記第一反射鏡は、当該第一反射鏡の凹状の曲面から成る反射面にて前記画像形成体からの光束を受けるように配設し、

前記第二反射鏡は、当該第二反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を前記第一反射鏡からの光束に向けて配設し、

前記第三反射鏡は、当該第三反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を前記第二反射鏡からの光束に向けて配設し、

前記第四反射鏡は、当該第四反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を前記第三反射鏡からの光束に向けて配設したことを特徴とする反射型結像光学系。

【請求項2】 前記各反射鏡の内の少なくとも一つの反射鏡の反射面を、自由曲面形状に形成したことを特徴とする請求項1記載の反射型結像光学系。

【請求項3】 前記各反射鏡における、少なくとも一つの反射鏡の反射面を自由曲面形状に形成すると共に、少なくとも一つの反射鏡の反射面を回転対称非球面形状に形成したことを特徴とする請求項1記載の反射型結像光学系。

【請求項4】 前記第四反射鏡の反射面を、前記回転対称非球面形状に形成したことを特徴とする請求項3記載の反射型結像光学系。

【請求項5】 前記各反射鏡を、樹脂材料にて形成したことを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の反射型結像光学系。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、投写型ディスプレイ装置等に用いられる拡大投写用の結像光学系に係り、その内特に反射型の結像光学系の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】近年における投写型ディスプレイとしてのプロジェクタ装置には、リアプロジェクタ装置並びにフロントプロジェクタ装置がある。この内、リアプロジェクタ装置は、従来のCRTプロジェクタに替えて液晶プロジェクタを用いて拡大投写を行うものが主流になりつつある。そして、この液晶プロジェクタを用いたリアプロジェクタ装置は、その構造上、薄型化及び軽量化が求められている。また、フロントプロジェクタ装置においては、一般家庭で使用できるように、即ち近距離での拡大投写を図る為に広画角化が求められている。

【0003】これらに対応する為、従来、各プロジェクタ装置の結像光学系として反射型結像光学系を用いたものがあり、例えば図5に示すものがある。

【0004】この図5に示す反射型結像光学系は、回転

対称非球面形状を有する第一から第三の三つの反射鏡103a、103b、103cで構成されるものであって、透過型画像形成素子102からの光束を各反射鏡103a、103b、103cにて順次反射させて画像を拡大投写するものである。

【0005】ここで、第一反射鏡103aは、その回転対称非球面形状の凹面を透過型画像形成素子102の結像面に向けて配設されている。第二反射鏡103bは、その回転対称非球面形状の凸面を第一反射鏡103aからの光束に向けて配設されている。第三反射鏡103cは、その回転対称非球面形状の凸面を第二反射鏡103bからの光束に向けて配設されている。

【0006】光源101から発せられた光束は透過型画像形成素子102を透過し、第一から第三の反射鏡103a、103b、103cにて順次反射される。そして、第三の反射鏡103cで反射された光束は図示しない投写スクリーンに拡大投写されて、この投写スクリーン上に画像が投影される。

【0007】このように反射型結像光学系を用いることによって、色収差をなくすることができる。また、光路の折り畳みができ小型化が可能となる。更には、内面反射が少なく高いコントラストを得ることができると共に、簡単な構成で高い解像度を得ることができ、等の多くの利点を得ることが可能となる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来例に示す反射型結像光学系には以下のような不都合があった。

【0009】第一に、広画角化を図り難いという不都合があった。例えば、最大画角を120度以上にする場合、各反射鏡103a、103b、103cの配設間隔を大きくする必要がある。更に、これに伴って光路が広がるので、即ち各反射鏡103a、103b、103cの反射面にて光束が大きな間隔をもって分布するので、各反射鏡103a、103b、103cを大型化する必要が出てくる。特に第三反射鏡103cの大型化は顕著である。このように広画角化を図ろうとすると光学系全体が大きくなってしまいうので、限られた大きさの装置では広画角化を図り難い。また、広画角化に伴って投写画面の下側が狭くなり、上側が広がってしまう扇形の歪曲収差が生じてしまうので、これによっても広画角化を図り難い。

【0010】第二に、反射型結像光学系が大きくなってしまいうという不都合があった。このことは、上述したように広画角化を図るにつれて生じる問題であるが、それ以外にも同様の問題を生じさせる要因がある。具体的には、歪曲収差の補正を図る為に光学系全体が大きくなってしまいう。即ち、この従来例は三つの反射鏡103a、103b、103cで構成されているので、歪曲収差補正に対する自由度が少ない。この為、各反射鏡103

a, 103b, 103cの配設間隔を広げる必要があり、これにより反射型結像光学系が大きくなってしま

【0011】

【発明の目的】本発明は、かかる従来例の有する不都合を改善し、結像光学系の大型化を抑え且つ広画角化を図ることのできる反射型の結像光学系を提供することを、その目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する為、請求項1記載の発明では、画像形成素子若しくは撮像素子等の画像形成体からの光束を順次反射させる為に、第一から第四の四つの反射鏡を備えている。ここで、第一反射鏡は、この第一反射鏡の凹状の曲面から成る反射面にて画像形成体からの光束を受けるように配設している。第二反射鏡は、この第二反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第一反射鏡からの光束に向けて配設している。第三反射鏡は、この第三反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第二反射鏡からの光束に向けて配設している。第四反射鏡は、この第四反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第三反射鏡からの光束に向けて配設している。

【0013】この為、この請求項1記載の発明では、反射鏡間の間隔を狭めることができ、且つ、各反射鏡の小型化を図ることができる。

【0014】請求項2記載の発明では、前述した請求項1記載の反射型結像光学系において、各反射鏡の内の少なくとも一つの反射鏡の反射面を自由曲面形状に形成している。

【0015】この為、この請求項2記載の発明では、前述した請求項1記載の発明と同等に機能するほか、反射面を自由曲面形状にすることによって理想的な曲面を形成することができるので、自由曲面形状部分で反射する光束の歪曲収差の補正の自由度を高めることができる。これにより、歪曲収差の補正を図ることが可能となる。

【0016】請求項3記載の発明では、前述した請求項1記載の反射型結像光学系において、各反射鏡における、少なくとも一つの反射鏡の反射面を自由曲面形状に形成すると共に、少なくとも一つの反射鏡の反射面を回転対称非球面形状に形成している。

【0017】この為、この請求項3記載の発明では、前述した請求項1記載の発明と同等に機能するほか、反射面を自由曲面形状、回転対称非球面形状にすることによって歪曲収差の補正を図ることができる。この場合、反射面を自由曲面形状にすることによって理想的な曲面を形成することができるので、自由曲面形状部分で反射する光束の歪曲収差の補正の自由度を高めることが可能となる。また、反射面を加工し易い回転対称非球面形状にすることによって、その加工に係る原価を低減することができる。

【0018】請求項4記載の発明では、前述した請求項3記載の反射型結像光学系において、第四反射鏡の反射面を回転対称非球面形状に形成している。

【0019】この為、この請求項4記載の発明では、前述した請求項3記載の発明と同等に機能するほか、他の反射鏡に比べて外形の大きい第四反射鏡の加工を容易に行うことができるので、更なる原価の低減効果を得ることができる。また、高い精度が求められる光学系の組立工程にあって、その組立精度を緩和することができる。

【0020】請求項5記載の発明では、前述した請求項1, 2, 3又は4記載の反射型結像光学系において、各反射鏡を樹脂材料にて形成している。

【0021】この為、この請求項5記載の発明では、前述した請求項1, 2, 3又は4記載の発明と同等に機能するほか、例えば反射鏡をガラスで形成した場合の複雑な研磨工程を経ずとも反射鏡を形成することができるので、その製造工程に係る原価の低減を図ることができる。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明の第一実施形態について図1及び図2に基づいて説明する。

【0023】図1に示す結像光学系は、回転対称非球面形状を有する第一及び第四の反射鏡3a, 3dと、自由曲面形状を有する第二及び第三の反射鏡3b, 3cとを備えた反射型結像光学系であって、透過型画像形成素子（画像形成体）2からの光束を各反射鏡3a, 3b, 3c, 3dにて順次反射して画像を拡大投写するものである。

【0024】ここで、第一反射鏡3aは、その回転対称非球面形状の凹面を透過型画像形成素子2に向けて配設されている。第二反射鏡3bは、その自由曲面形状の凸面を第一反射鏡3aからの光束に向けて配設されている。第三反射鏡3cは、その自由曲面形状の凸面を第二反射鏡3bからの光束に向けて配設されている。第四反射鏡3dは、その回転対称非球面形状の凸面を第三反射鏡3cからの光束に向けて配設されている。そして、第一反射鏡3aと第二反射鏡3bとの間隔、及び第二反射鏡3bと第三反射鏡3cとの間隔を、第三反射鏡3cと第四反射鏡3dとの間隔よりも狭くなるように配設されている。

【0025】この場合各反射鏡3a, 3b, 3c, 3dは、本実施形態において樹脂材料にて形成されている。

【0026】光源1から発せられた光束は透過型画像形成素子2を透過し、その光束は第一から第四の反射鏡3a, 3b, 3c, 3dにて順次反射される。そして、第四反射鏡3dで反射された光束が図示しない投写スクリーンに拡大投写されて、この投写スクリーン上に画像が投影される。この時、投写画像の投影画角は120度以上に広画角化されている。

【0027】本実施形態における第二及び第三の反射鏡

3 b, 3 cの反射面の自由曲面形状は、ツェルニケ (Fr \* 【0028】  
itz Zernike) の多項式を用いた以下の式で表される。 \* 【数1】

$$Z = \frac{c\rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2\rho^2}} + \sum_{i=1}^8 \alpha_i \rho^{2i} + \sum_{i=1}^{28} A_i F_i(\rho, \phi)$$

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \phi = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \\ c = \frac{1}{r} \end{cases}$$

【0029】この場合、Zは面の深さ、kは円錐常数、cは光軸頂点での曲率、 $\rho$ は光軸からの高さ、 $\alpha_i$  ( $i=1, 2, \dots, 7, 8$ )、 $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, 27, 28$ )、 $F_i$  ( $i=1, 2, \dots, 27, 28$ )は各々補正係数、rは光軸頂点での曲率半径を示す。また、x、yは三次元左手座標のx、yを示す。ここで、関数 $F_i$  ( $i=1, 2, \dots, 27, 28$ )については図2に各々示す。

【0030】続いて、第一及び第四の反射鏡3 a, 3 dの反射面の回転対称非球面形状は以下の式で表される。

【0031】

【数2】

$$Z = \frac{c\rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2\rho^2}} + \sum_{i=1}^8 \alpha_i \rho^{2i}$$

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2} \\ c = \frac{1}{r} \end{cases}$$

【0032】この場合、Zは面の深さ、kは円錐常数、cは光軸頂点での曲率、 $\rho$ は光軸からの高さ、 $\alpha_i$  ( $i=1, 2, \dots, 7, 8$ )は各々補正係数、rは光軸頂点での曲率半径を示す。また、x、yは三次元左手座標のx、yを示す。

【0033】尚、各反射鏡3 a, 3 b, 3 c, 3 dの反射面の形状を表す上述した各式は、必ずしもこれに限定するものではない。

【0034】このように、本実施形態においては、四つの反射鏡3 a, 3 b, 3 c, 3 dを設け、且つ、第一反射鏡3 aと第二反射鏡3 bとの間隔、並びに第二反射鏡3 bと第三反射鏡3 cとの間隔を、第三反射鏡3 cと第四反射鏡3 dとの間隔よりも狭くしているため、光学系全体の大型化を抑えつつ広画角化を図ることができる。

【0035】具体的に説明すると、例えば従来例の如く図5に示す三つの反射鏡103 a, 103 b, 103 cから成る反射型結像光学系において本実施形態と同等の画角を得ようとした場合、前述したように反射鏡間の間

隔を大きくする必要があり、且つ、これに伴って各反射鏡103 a, 103 b, 103 cの大型化を図る必要がある。特に第三反射鏡103 cは、本実施形態の第四反射鏡3 dよりも大きくする必要がある。即ち、従来例に示す反射型結像光学系にて広画角化を図ろうとすると、光学系全体が大型化してしまう。

【0036】しかしながら、本実施形態のように四つの反射鏡3 a, 3 b, 3 c, 3 dを設けることによって、反射鏡間隔を狭めることができ、且つ、各反射鏡3 a, 3 b, 3 c, 3 dの小型化を図ることができる。そして、これにより光学系全体の大型化を抑えつつ広画角化を図ることが可能となる。

【0037】次に、本実施形態では第一及び第四の反射鏡3 a, 3 dを回転対称非球面形状に、また、第二及び第三の反射鏡3 b, 3 cを自由曲面形状に形成しているため、例えば反射鏡を球面に形成した場合に比べて理想的な曲面を形成することができる。そして、これにより歪曲収差の補正ができ、投写スクリーン上に投写された画像の高解像度化を図ることが可能となる。

【0038】更に、第二及び第三の反射鏡3 b, 3 cを自由曲面形状に形成しているため、これら各反射鏡3 b, 3 cにて反射された各光束の歪曲収差の補正の自由度をより高めることができる。即ち、より好適な曲面形状を形成することができるので、従来例にて問題であった広画角化時の歪曲収差を有効に補正することができる。そして、これにより高解像度を達成しつつ広画角化を図ることが可能となる。

【0039】尚、本実施形態において反射面が自由曲面形状である反射鏡を二つ(第二及び第三の反射鏡3 b, 3 c)設けているが、必ずしもこれに限定するものではない。例えば、各反射鏡3 a, 3 b, 3 c, 3 dの内の一つのみが自由曲面形状を有する反射鏡であっても上述した実施形態と同様の作用効果を得ることができる。但しこの場合、後述するように原価の点を考慮するのであれば、外形の大きな第四反射鏡3 dは回転対称非球面形状に形成して原価低減を図ることが望ましい。

【0040】ここで、他の反射鏡3 a, 3 b, 3 cに比

べて外形の大きい第四反射鏡3dを加工し易い回転対称非球面形状に形成しているので、その加工に係る原価を低減することができる。また、第一反射鏡3aも回転対称非球面形状に形成しているので、同様に原価低減を図ることができる。更には、高い精度が求められる光学系の組立工程にあって、本実施形態では回転対称非球面形状を有する第一及び第四の反射鏡3a、3dを設けているので、高解像度を維持しつつ組立精度を緩和することができる。これにより、その組立工程に係る原価の低減を図ることが可能となる。即ち、回転対称非球面形状から成る二つの反射鏡（本実施形態では第一及び第四の反射鏡3a、3d）を設けることによって、光学系全体の原価低減に寄与することができる。

【0041】また、各反射鏡3a、3b、3c、3dを樹脂材料にて形成しているので、安価な反射型結像光学系を構成することができる。具体的には、例えば反射鏡をガラスで形成した場合には複雑な研磨工程を経なければならないが、樹脂材料を用いることによってその工程を経ずとも反射鏡を形成することができる。そして、これにより製造工程における原価を低減することが可能となり、安価な反射型結像光学系を得ることができる。但しこの場合、各反射鏡3a、3b、3c、3dの材料としては樹脂材料に限定するものでなく、適宜原価、性能等を考慮した他の材料を用いてもよい。

【0042】ここで、この樹脂材料から成る各反射鏡3a、3b、3c、3dを用いた反射型結像光学系を投写型ディスプレイ装置に適用する場合は、光源1からの熱影響を考慮する必要がある。具体的には、第二及び第三の反射鏡3b、3cにおける各反射面では光束が狭い間隔で分布しているので熱の影響を受け易くなっている。この為、第二及び第三の反射鏡3b、3cは、その材質の線膨張係数 $\alpha$ を $\alpha < 6 \times 10^{-5}$ に抑えることによって熱影響を緩和させることが望ましい。

【0043】次に、本発明の第二実施形態について図3及び図4に基づいて説明する。

【0044】図3及び図4に示す結像光学系は、自由曲面形状を有する第一から第三の反射鏡13a、13b、13cと、回転対称非球面形状を有する第四反射鏡13dとを備えた反射型結像光学系であって、画像形成素子若しくは撮像素子等の画像形成体12からの光束を各反射鏡13a、13b、13c、13dにて順次反射させて画像を拡大投写するものである。

【0045】ここで、第一反射鏡13aは、その自由曲面形状の凹面にて画像形成体12の結像面からの光束を受けるように配設されている。第二反射鏡13bは、その自由曲面形状の凸面を第一反射鏡13aからの光束に向けて配設されている。第三反射鏡13cは、その自由曲面形状の凸面を第二反射鏡13bからの光束に向けて

配設されている。第四反射鏡13dは、その回転対称非球面形状の凸面を第三反射鏡13cからの光束に向けて配設されている。そして、第一反射鏡13aと第二反射鏡13bとの間隔、及び第二反射鏡13bと第三反射鏡13cとの間隔を、第三反射鏡13cと第四反射鏡13dとの間隔よりも狭くなるように配設されている。

【0046】この場合各反射鏡13a、13b、13c、13dは、本実施形態において樹脂材料にて形成されている。

【0047】光源11から発せられた光束は画像形成体12で反射され、その光束は第一から第四の反射鏡13a、13b、13c、13dにて順次反射される。そして、第四反射鏡13dで反射された光束が図示しない投写スクリーンに拡大投写されて、この投写スクリーン上に画像が投影される。この時、投写画像の投影画角は140度以上に広画角化されている。

【0048】この場合、各反射鏡13a、13b、13c、13dの自由曲面形状及び回転対称非球面形状は、第一実施形態と同様の式で表される。

【0049】このように、本実施形態においても四つの反射鏡13a、13b、13c、13dを設け、且つ、第一反射鏡13aと第二反射鏡13bとの間隔、並びに第二反射鏡13bと第三反射鏡13cとの間隔を、第三反射鏡13cと第四反射鏡13dとの間隔よりも狭くしているため、前述した第一実施形態と同様に光学系全体の大型化を抑えつつ広画角化を図ることができる。

【0050】次に、本実施形態では第一から第三の反射鏡13a、13b、13cを自由曲面形状に、また、第四反射鏡13dを回転対称非球面形状に形成しているので、前述した第一実施形態と同様に、例えば反射鏡を球面に形成した場合に比べて理想的な曲面を形成することができる。そして、これにより歪曲収差の補正ができ、投写スクリーン上に投写された画像の高解像度化を図ることが可能となる。

【0051】更に、第一から第三の反射鏡13a、13b、13cを自由曲面形状に形成しているので、これら各反射鏡13a、13b、13cにて反射された各光束の歪曲収差の補正の自由度をより高めることができる。即ち、より好適な曲面形状を形成することができるので、従来例にて問題であった広画角化時の歪曲収差を有効に補正することができる。そして、これにより高解像度を達成しつつ広画角化を図ることが可能となる。この場合、前述した第一実施形態において示したように、自由曲面形状を有する反射鏡の数は、必ずしも本実施形態の数に限定するものではない。

【0052】ここで、他の反射鏡13a、13b、13cに比べて外形の大きい第四反射鏡13dを加工し易い回転対称非球面形状に形成しているので、その加工に係る原価を低減することができる。更には、高い精度が求められる光学系の組立工程にあって、本実施形態では回

転対称非球面形状を有する第四反射鏡13dを設けているので、高解像度を維持しつつ組立精度を緩和することができる。これにより、その組立工程に係る原価の低減を図ることが可能となる。即ち、回転対称非球面形状から成る反射鏡（本実施形態では第四反射鏡13d）を設けることによって、光学系全体の原価低減に寄与することができる。

【0053】また、前述した第一実施形態と同様に各反射鏡13a、13b、13c、13dを樹脂材料にて形成しているの、安価な反射型結像光学系を構成することができ

【0054】

【発明の効果】本発明に係る反射型結像光学系は、第一から第四の四つの反射鏡を備える。ここで、第一反射鏡は、この第一反射鏡の凹状の曲面から成る反射面にて画像形成体からの光束を受けよう配設する。第二反射鏡は、この第二反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第一反射鏡からの光束に向けて配設する。第三反射鏡は、この第三反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第二反射鏡からの光束に向けて配設する。第四反射鏡は、この第四反射鏡の凸状の曲面から成る反射面を第三反射鏡からの光束に向けて配設する、という構成を採っている。この為、反射鏡間の間隔を狭めることができ、且つ、各反射鏡の小型化を図ることができるので、光学系全体の大型化を抑えつつ高画角化を図ることができる。

【0055】ここで、各反射鏡の内の少なくとも一つずつの反射鏡の反射面を自由曲面形状に形成することによって、その反射面を理想的な曲面に形成することができる。この為、自由曲面形状部分で反射する光束の歪曲収差の補正の自由度を高めることができ、これにより歪曲収差の補正を図ることができるので、高解像度化を図ることが可能となる。

【0056】また、各反射鏡における、少なくとも一つの反射鏡の反射面を自由曲面形状に形成すると共に、少なくとも一つの反射鏡の反射面を回転対称非球面形状に形成することによって、歪曲収差の補正を図ることができる。この場合、反射面を自由曲面形状にすることによって理想的な曲面を形成することができるので、自由曲面形状部分で反射する光束の歪曲収差の補正の自由度を

高めることが可能となる。これにより、更なる高解像度化を図ることができる。また、反射面を加工し易い回転対称非球面形状にすることによって、その加工に係る原価を低減することができる。

【0057】この場合、第四反射鏡をその反射面が回転対称非球面形状である反射鏡とすることによって、他の反射鏡に比べて外形の大きい第四反射鏡の加工が容易に行われるので、その加工に要する原価の更なる低減効果を得ることができる。また、高い精度が求められる光学系の組立工程にあって、その組立精度を緩和することができるので、これによっても原価の低減を図ることができる。

【0058】ここで、各反射鏡を樹脂材料で形成することによって、例えば反射鏡をガラスで形成した場合の複雑な研磨工程を経ずとも反射鏡を形成することができるので、その製造工程に係る原価の低減を図ることができる。

【0059】即ち、本発明によって光学系全体の大型化を抑えつつ高画角化を図ることができ、且つ、高解像度化を図ることができる。更には、光学系全体の原価の低減をも図ることができるという、従来にない優れた反射型結像光学系を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る反射型結像光学系の第一実施形態を示す側面図である。

【図2】関数 $F_i$ （ $i=1, 2, \dots, 27, 28$ ）を示す図である。

【図3】本発明に係る反射型結像光学系の第二実施形態を示す側面図である。

【図4】本発明に係る反射型結像光学系の第二実施形態を示す斜視図である。

【図5】従来の反射型結像光学系を示す側面図である。

【符号の説明】

2 透過型画像形成素子（画像形成体）

3a、13a 第一反射鏡

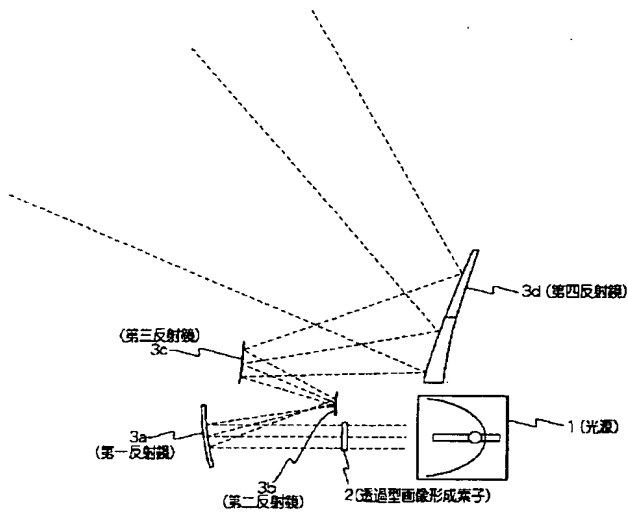
3b、13b 第二反射鏡

3c、13c 第三反射鏡

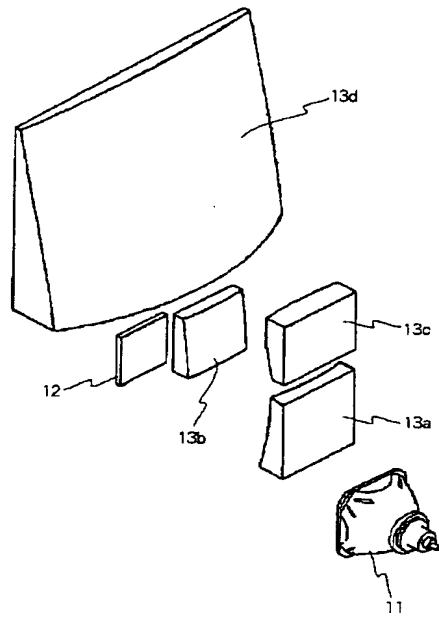
3d、13d 第四反射鏡

12 画像形成体

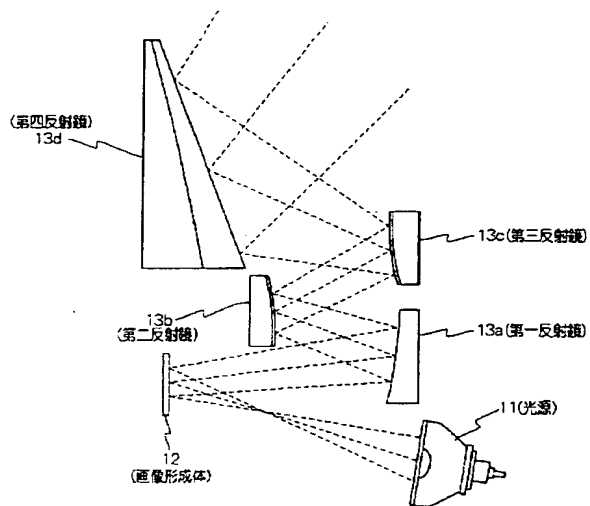
【図1】



【図4】



【図3】





【図2】

		$Fi(\rho, \phi)$
i	1	1
	2	$\sqrt{4}\rho \cos \phi$
	3	$\sqrt{4}\rho \sin \phi$
	4	$\sqrt{3}(2\rho^2 - 1)$
	5	$\sqrt{6}(\rho^2 \sin 2\phi)$
	6	$\sqrt{6}(\rho^2 \cos 2\phi)$
	7	$\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \sin \phi$
	8	$\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho) \cos \phi$
	9	$\sqrt{8}\rho^3 \sin 3\phi$
	10	$\sqrt{8}\rho^3 \cos 3\phi$
	11	$\sqrt{5}(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$
	12	$\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \cos 2\phi$
	13	$\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \sin 2\phi$
	14	$\sqrt{10}\rho^4 \cos 4\phi$
	15	$\sqrt{10}\rho^4 \sin 4\phi$
	16	$\sqrt{12}(10\rho^5 - 12\rho^3 + 3\rho) \cos \phi$
	17	$\sqrt{12}(10\rho^5 - 12\rho^3 + 3\rho) \sin \phi$
	18	$\sqrt{12}(5\rho^5 - 4\rho^3) \cos 3\phi$
	19	$\sqrt{12}(5\rho^5 - 4\rho^3) \sin 3\phi$
	20	$\sqrt{12}\rho^5 \cos 5\phi$
	21	$\sqrt{12}\rho^5 \sin 5\phi$
	22	$\sqrt{7}(20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1)$
	23	$\sqrt{14}(15\rho^6 - 20\rho^4 + 6\rho^2) \sin 2\phi$
	24	$\sqrt{14}(15\rho^6 - 20\rho^4 + 6\rho^2) \cos 2\phi$
	25	$\sqrt{14}(6\rho^6 - 5\rho^4) \sin 4\phi$
	26	$\sqrt{14}(6\rho^6 - 5\rho^4) \cos 4\phi$
	27	$\sqrt{14}\rho^6 \sin 6\phi$
	28	$\sqrt{14}\rho^6 \cos 6\phi$

【図5】

